

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В.Ф. Калинин¹, К.А. Набатов¹, А.М. Шувалов², А.В. Кобелев¹

*Кафедра “Электрооборудование и автоматизация”, ТГТУ (1);
Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический
институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве
(ВИИТуН), г.Тамбов (2)*

Ключевые слова и фразы: ветроэнергетический потенциал; мощность ветроэнергетической установки; скорость ветра; электропотребление.

Аннотация: Предлагается метод определения вероятности распределений скорости ветра для Тамбовской области. Используя эту методику расчета можно оценить удельную выработку электрической энергии от ветровых установок и возможность использования ветроэнергетических установок в конкретном ветровом районе.

Обозначения

F_B – площадь поперечного сечения, м ² ; H – высота над уровнем земли, м; $p(V)$ – вероятность скорости ветра по градациям; P – мощность ветрового потока, Дж/с; $P_{\text{ном}}$ – установленная мощность ВЭУ, кВт; $P_{\text{уд}}$ – удельная мощность ветра, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения, Дж/(с м ²);	$P_{\text{уд}}^{\text{тех}}$ – удельная выработка энергии ВЭУ, Дж/м ² ; V – скорость ветра, м/с; \bar{V} – усредненная скорость ветра, м/с; W – максимальная выработка энергии ВЭУ за время T , МДж; Z_0 – высота шероховатости поверхности, м; ρ – плотности воздуха, кг/м ³ .
--	---

Одним из альтернативных источников энергии является ветровая энергия.

Опорная сеть гидрометеорологической службы систематически ведет наблюдения за скоростью ветра. Полученные данные являются основой для расчета кадастровых характеристик ветра.

Достоверность этих характеристик во многом зависит от длительности ряда многолетних наблюдений. Проведенный литературный анализ [1 – 3] позволил сделать вывод, что с учетом возможных вариаций среднегодовой скорости ветра от года к году, вполне можно ограничиться 10-летним рядом наблюдений. При этом отмечается вполне удовлетворительная точность при оценке статистических характеристик скорости ветра [3, 4].

В метеорологических ежемесячниках приводится первичная обработка информации о скорости ветра по следующим формулам:

$$v_{mij} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L v_{jnl}}{NL}; \quad (1)$$

$$V = \frac{\sum_{j=1}^J V_{ij}}{J}; \quad (2)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J V_{mij}}{I \cdot J}, \quad (3)$$

где L – число замеров скорости ветра в сутки; N – количество дней в месяце; V_{nl} – скорость ветра l -го замера n -х суток, м/с; J – число месяцев в году; I – число лет наблюдений.

Уровни колебания скоростей ветра в пределах одноименных месяцев и от года к году оцениваются с помощью коэффициентов вариации

$$C_{v_{mJ}} = \frac{1}{v_{mJ}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I (v_{mij} - v_{mi})^2}{I-1}}, \quad (4)$$

где v_{mij} – средняя за I лет скорость ветра j -го месяца, м/с.

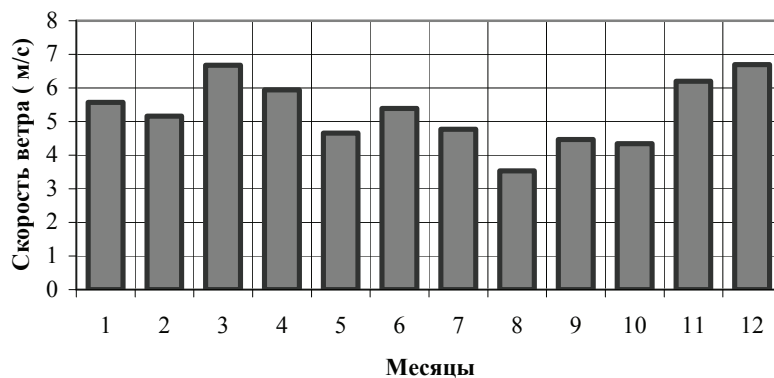


Рис. 1 Годовое распределение скорости ветра

При сопоставлении среднегодовых скоростей ветра, измеренных в различных точках исследуемого региона, их необходимо приводить к одинаковым условиям по открытости и высоте. Для учета факторов открытости площадок для ветроустановок на местности применялась классификация, предложенная в [5]. Оценка переменного показателя степени m , проведенная в [6], показала, что его величина меняется с высотой особенно заметно в слое 100...200 м над поверхностью земли

$$v(H) = v(h) \left(\frac{H}{h} \right)^m, \quad (5)$$

где $v(H)$ и $v(h)$ – скорость на высотах H и h ; m – переменный показатель степени, зависящий от высоты температурной стратификации, скорости ветра и подстилающей поверхности.

Для конкретной высоты показатель m желательно описывать некоторой функцией. В слое 0...10 м он изменяется незначительно и здесь его можно считать

постоянным. В работе [5] приведенная зависимость предпочтительна для расчета шероховатости поверхности для агрегатов малой мощности, которые располагаются на небольшой высоте над уровнем земли. L может быть оценен от шероховатости поверхности местонахождения следующим уравнением :

$$L = 25H^{0,35} / (Z_0)^{0,063}, \quad (6)$$

где H – высота над уровнем земли, м; Z_0 – высота шероховатости поверхности (изменяется приблизительно от 10^{-5} м для гладкой поверхности до 10^{-2} м для травы и до 1,0 для лесов).

Из проведенных наблюдений для региона России ландшафт местности значительно влияет на скорость ветра.

Среднегодовое распределение скорости ветра характеризуют ветер за длительный период времени: диапазон изменения интенсивности ветра широк, но в то же время наблюдаются и закономерные, обусловленные временем года и суток изменения. В практике ветроэнергетических расчетов такие изменения принято называть годовым и суточным ходом ветра.

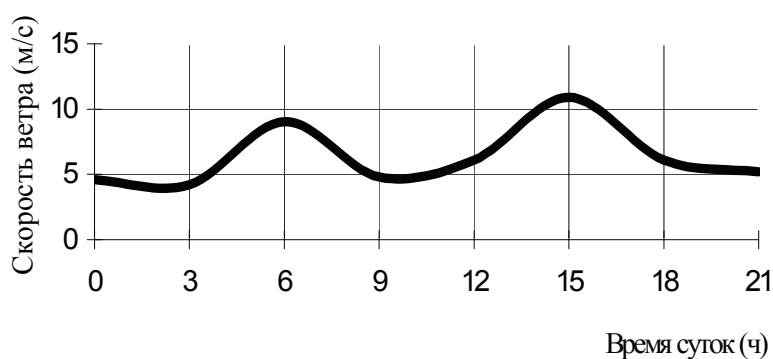


Рис. 2 Среднесуточное распределение скорости ветра за год

Годовой ход ветра – это сезонное изменение среднемесячной скорости ветра v_{mj}

$$v_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^I v_{mij}}{I}; \quad (7)$$

суточный ход скорости ветра

$$v_{cjl} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N v_{ijkl}}{I \cdot N}, \quad (8)$$

где v_{ijkl} – скорость ветра в l -й час n -х суток j -го месяца I -го года.

Средняя многолетняя скорость, годовой и суточный ходы дают общее представление об интенсивности ветра.

Статистические данные метеонаблюдений для Тамбовской области показывают, что наивысшая ветровая активность зимой и осенью (рис. 1), в утреннее и вечернее время суток (рис. 2) совпадает с пиковыми значениями электропотребления.

Статистические характеристики скорости ветра зависят от особенностей местных условий: рельефа, высоты поверхности земли над уровнем моря, близости водоема, жилых и промышленных объектов, характера растительности и др. Среднее значение скорости ветра является универсальной характеристикой. Однако она не отражает продолжительность наблюдения ветровой активности. Наиболее полную информацию можно получить, изучая повторяемость скорости ветра. Для получения данной характеристики был обработан большой статистический материал за 10-летний период восьми строчных наблюдений (восемь наблюдений в сутки) по метеостанциям.

Для нахождения энергии, которую можно получить от ветроагрегатов, проблемой является отыскание закона распределения скорости ветра, удовлетворительно описывающего распределение исследуемого признака в тех или иных физико-географических условиях в пределах точности исходных данных.

Попытка описать плотность распределения скорости ветра с помощью различных законов распределения показала [7, 8], что наиболее предпочтительным является распределение Гаусса [9]. Объясняется это тем, что кривая распределения Гаусса имеет более сходную функцию вероятности распределения скорости ветра по нормальному распределению Гаусса с функцией, полученной на практике

$$P(V) = \frac{1}{\sigma_V \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{V - \bar{V}}{\sigma_V} \right)^2}, \quad (9)$$

где V – скорость ветра, м/с; \bar{V} – скорость ветра, усредненная во времени, м/с; σ_V – среднее квадратичное отклонение скорости ветра, м/с.

Гистограмма распределение скорости ветра за год

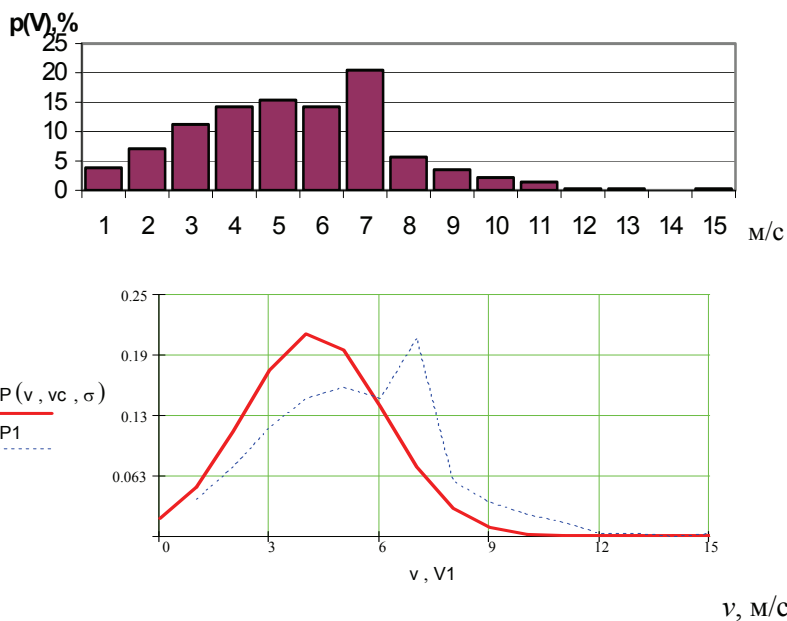


Рис. 3 Теоретическая и экспериментальная вероятность распределения скорости ветра:

$P(v, v_c, \sigma)$ – теоретическая вероятность распределения скорости ветра;

P_1 – экспериментальная вероятность распределения скорости ветра

Параметры принятого закона распределения скорости ветра могут служить основой для определения ветроэнергетических ресурсов.

Мощность ветрового потока, протекающего в единицу времени через поперечное сечение площадью $F_B = 1 \text{ м}^2$ при определенной скорости ветра V (м/с) и плотности воздуха ρ (кг/м³)

$$P = 0,5\rho V^3 F_B. \quad (10)$$

Удельная мощность ветра, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения

$$P_{уд} = 0,5\rho V^3. \quad (11)$$

Среднемесячная (сезонная годовая) удельная энергия ветра $W_{уд}$ – это энергия, протекающая за месяц (сезон, год) через поперечное сечение площадью в один квадратный метр и зависящая от плотности распределения скорости ветра

$$W_{уд} = 1,8 \cdot 10^3 \rho T \int_0^{V_{max}} V^3 p(V) dV, \quad (12)$$

где T – число часов, за которое определяется удельная энергия ветра ($T = 720$ ч за месяц, $T = 2160$ ч – за сезон, $T = 8760$ ч – за год); $p(V)$ – вероятность скорости ветра по градациям.

Технические ветроэнергоресурсы – это часть потенциальных ресурсов, которые могут быть использованы с помощью имеющихся технических средств. Они определяются с учетом неизбежных потерь при использовании ветровой энергии. В силу конструктивных особенностей часть своей мощности ВЭУ теряет за счет инерции покоя ветроколеса ($\Delta P_{V_{min}}$), часть – за счет режима регулирования (ΔP_{V_p}) и часть – за счет вывода ветроколеса из-под ветра ($\Delta P_{V_{max}}$).

Номинальная мощность ВЭУ определяется выражением [10]

$$P_n = 4,81 \cdot 10^{-4} D^2 v_p^3 C_p \eta_p \eta_r, \quad (13)$$

где D – диаметр ветроколеса, м; v_p – расчетная скорость ветра, м/с; C_p – коэффициент использования ветрового потока; η_p , η_r – КПД редуктора и генератора.

Если принять $\eta_p = 0,95$, $C_p = 0,35$ для тихоходных ВЭУ; $\eta_p = 0,9$, $C_p = 0,45$ для быстроходных ВЭУ [11, 12], $D^2 = 4/\pi$ и перейти к удельной мощности ВЭУ

$$\beta = 4,81 \cdot 10^{-4} \frac{4}{\pi} C_p \eta_p \eta_r; \quad (14)$$

$\beta = 2,35 \cdot 10^{-4}$ – для быстроходных ВЭУ; $\beta = 1,83 \cdot 10^{-4}$ – для тихоходных ВЭУ.

Удельная выработка энергии ВЭУ

$$W_{уд}^{тех} = 3,6 \cdot 10^6 \beta T \int_0^{V_{max}} P_{c(v)} p(v) dv, \quad (15)$$

где $P_{c(v)}$ – техническая характеристика ВЭУ.

В зависимости от параметра T определяется удельная выработка энергии за месяц, сезон, год.

Разные типы ВЭУ имеют различные технические и энергетические характеристики. Для определения наиболее подходящих из них для конкретного типа местности применяется коэффициент использования установленной мощности [10]:

$$K_y = \frac{W}{P_{\text{ном}} T}, \quad (16)$$

где W – максимальная выработка энергии ВЭУ за время T , МДж; $P_{\text{ном}}$ – установленная мощность ВЭУ, кВт.

Использование ВЭУ считается эффективным при $K_y \geq 25\%$ [10]. По известному коэффициенту K_y легко определить количество часов использования установленной мощности ветроустановки за время T

$$h_{\text{max}}^{\text{ВЭУ}} = TK_y. \quad (17)$$

Результаты расчета позволили сделать вывод, что нормальное распределение можно использовать для описания эмпирических распределений скорости ветра для различных ветровых районов. По этим зависимостям оценивается возможность использования ветроэнергетических установок в заданном ветровом районе. Для Тамбовской области вероятность того, что скорость ветра достаточна для использования ветротурбин составляет 70 % (см. рис. 3).

Список литературы

1. Гринвич Г.А. Опыт разработки элементов малого ветроэнергетического кадастра Средней Азии и Казахстана. – Ташкент: Изд. АН УзССР, 1952. – 151 с.
2. Методы разработки ветроэнергетического кадастра. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 96 с.
3. Минин В.А. Основные элементы ветроэнергетического кадастра Севера // Проблемы энергетики Мурманской области и соседних районов. – Изд. Кольского филиала АН СССР, 1980. – С. 135–151.
4. Есьман В.И., Ализаде А.С. Ветроэнергетические ресурсы Азербайджана. – Баку: Азэнергия, 1966. – 97 с.
5. Freris, L. L. (ed.), Wind Energy Conversion Systems, Prentice Hall International Ltd., Hemel Hempstead (UK), 1990.
6. Степанова П.Е. Моделирование пространственно-временной структуры ветра и задачи оптимального использования его энергии: Автореф. дисс. ... канд. географ, наук. Одесса, 1986.
7. Гизатуллин М.Р., Саплин Л.А. Оценка возможности использования ветровой энергии в сельскохозяйственном производстве зоны Урала // Повышение надежности работы электроустановок в сельском хозяйстве: Науч.тр. / ЧИМЭСХ. Челябинск, 1986. – С. 93–96.
8. Саплин Л.А., Орлов В.Л. Уточненная методика оценки эмпирических характеристик с помощью кривых распределения Пирсона для Южного Урала // Повышение эксплуатационной надежности электрооборудования в сельском хозяйстве: Тр. ЧИМЭСХ, 1990. – С. 71–76.
9. Митраиольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
10. Фатеев Е.М. Методика определения параметров ветроэнергетических расчетов ветросиловых установок. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 88 с.
11. Твайделл, Дж. Уэйр Л. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
12. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 201 с.

About the Possibilities of Using Alternative Energy Sources

V.F. Kalinin¹, K.A. Nabatov¹, A.M. Shuvalov², A.V. Kobelev¹

*Department "Electrical Equipment and Automation", TSTU (1);
All-Russian Scientific Research and Technology Designing Institute of Equipment and
Oil Product Application in Agriculture, Tambov (2)*

Key words and phrases: capacity of wind power device; energy consumption; wind velocity; windpower potential.

Abstract: Method of determining the possibility of wind velocity distribution for Tambov region is suggested. Applying this method of calculation one can evaluate specific output of electrical power by wind power plant and possibility of using wind power plants in a particular wind area.

Über Möglichkeiten der Benutzung von alternativen Energiequellen

Zusammenfassung: Es wird die Methode der Bestimmung der Relativität von Verteilung der Windgeschwindigkeit im Gebiet Tambov. Benutzend diese Rechenmethode kann man die spezifische Ausarbeitung der Elektroenergie von den Windanlagen und die Möglichkeit der Benutzung der energetischen Windanlagen im bestimmten Windregion schätzen.

Sur les possibilités de l'utilisation des sources alternatives de l'énergie

Résumé: Est proposée la méthode de la définition de la répartition de la vitesse du vent pour la région de Tambov. En utilisant la méthode du calcul on peut évaluer la fabrication spécifique de l'énergie électrique des installations éoliennes ainsi que la possibilité de l'utilisation des installations énergétiques de vent dans une région donnée.
